

Исследование доменной структуры наноразмерной пленки ЦТС сформированной на кремниевой подложке

В.В. Петров¹, А.В. Нестеренко¹, Д.В. Стрюков², А.В. Павленко², О.И. Осотова¹,
О.А. Агеев^{1,3}

¹Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, Южный федеральный университет, 347922, Таганрог, Россия
e-mail: vvp2005@inbox.ru

²Южный научный центр Российской Академии наук, 344006, Ростов-на-Дону, Россия

³Научно-образовательный центр «Нанотехнологии», Южный федеральный университет, 347922, Таганрог, Россия

Тонкие пленки цирконата титаната свинца (ЦТС) обладают большой диэлектрической проницаемостью, высоким пьезомодулем, уникальными электрооптическими свойствами. Пьезо- и сегнетоэлектрические свойства пленок ЦТС зависят от технологии их формирования. В большинстве применяемых методов формирования пленок ЦТС необходим дополнительный термический отжиг. Применение метода высокочастотного реактивного плазменного распыления позволяет сократить эту операцию, так как структура пленки формируется в процессе роста при напылении на подложку [1]. Целью работы являлось формирование тонких пленок ЦТС методом высокочастотного реактивного распыления на кремниевой высоколегированной подложке n-типа проводимости (КЭС-0,01) с ориентацией (111) и исследование их свойств.

Пленки ЦТС с соотношением Zr:Ti равном 1:1 формировались на установке для получения тонких эпитаксиальных пленок сложных оксидов "Плазма 80 СЭ" (Россия) при мощности 220 - 230 Вт, температуре подложки 500 - 530 °С и давлении высокочистого кислорода в камере 0,45- 0,55 Торр в течение 60 мин [2]. Для исследования свойств пленок использовались метод рентгенофазового анализа (РФА, ДРОН-3, физический факультет ЮФУ), растровая электронная микроскопия (РЭМ, NovaNanoLab 600, НОЦ «Нанотехнологии») ЮФУ.

Методом РФА было определено, что пленки ЦТС имеют поликристаллическую структуру с преимущественным ростом в направлении (111) -- рисунок 1. Перовскитовая фаза в кубическом приближении имеет параметр элементарной ячейки равный $a = 4.10 \text{ \AA}$. В пленке также присутствуют следы пироклорной фазы.

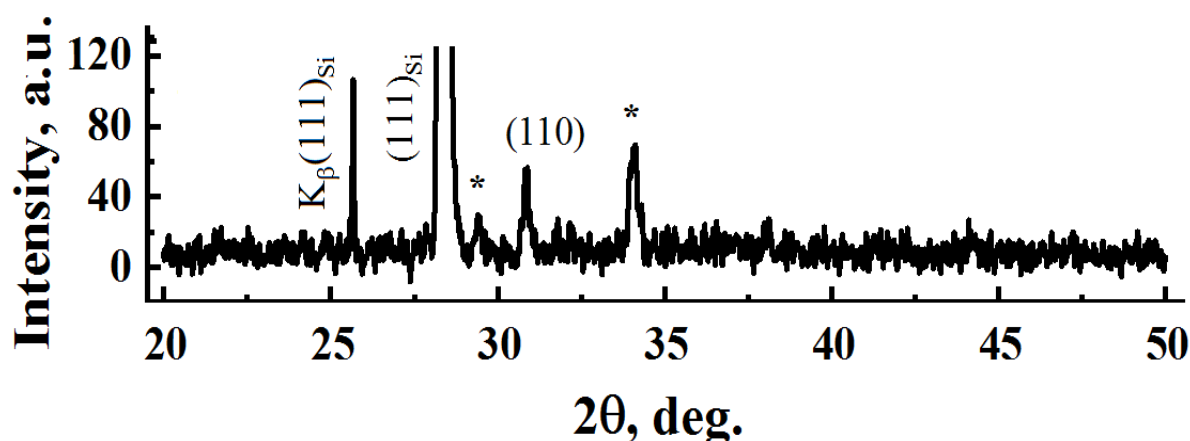


Рисунок 1. Дифрактограммы пленки ЦТС–Si (* пироклорная фаза).

РЭМ измерения показали, что толщина полученных пленок составила 0,6-0,7 мкм. Поверхность пленки имеет развитый рельеф с преобладающим количеством остроконечных «выступов» высотой 100-300 нм.

Для измерения пьезоэлектрического модуля образцов была применена силовая микроскопия пьезоотклика (СМП), реализованная в сканирующей зондовой

нанолаборатории «Ntegra» (Россия). При исследовании методом СМП зонд прижимается к образцу с силой, величина которой регулируется заданным значением изгиба кантилевера. Пьезоэлектрический эффект, приводящий к периодическому сжатию и растяжению образца, создается с помощью переменного напряжения, приложенного между зондом и образцом. Изменения размеров образца приводят к изменениям изгибов кантилевера, которые оптически регистрируются с помощью переменных сигналов, поступающих от четырех сегментов фотодетектора. Амплитуда и фаза периодических смещений зонда в вертикальном направлении характеризуют вертикальный пьезоотклик. Амплитуды и фазы латеральных смещений зонда характеризуют, соответственно, латеральный пьезоотклик.

Анализ, проведенный СМП методом на части поверхности размером 10×10 мкм², указал, что нанокристаллы ЦТС расположены по поверхности выступов – рисунок 2.

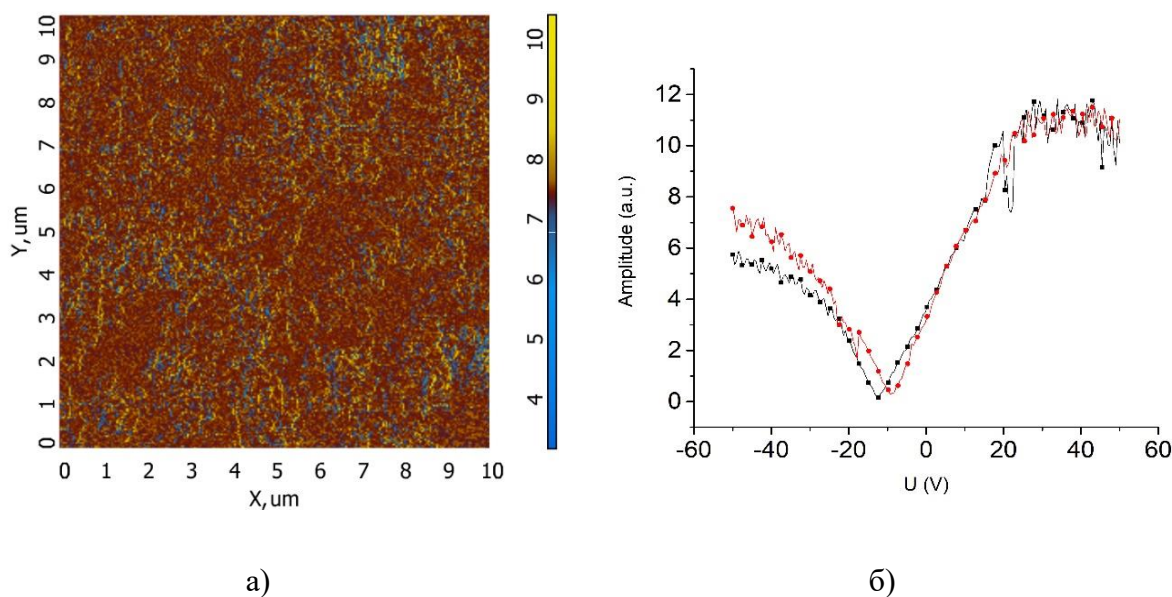


Рисунок 2. Пьезоотклик ЦТС наноструктур: а) амплитуда вертикальных смещений зонда; б) зависимость амплитуды вертикальных смещений зонда от амплитуды напряжения.

Анализ зависимости амплитуды вертикальных колебаний зонда от амплитуды прикладываемого напряжения показал, что величина пьезомодуля составляет $133 \pm 9,4$ пм/В. Величина пьезомодуля для латерального пьезоотклика была на порядок меньше.

В результате исследований показано, что в пленках ЦТС, толщиной 0,6-0,7 мкм, сформированных методом высокочастотного реактивного плазменного распыления в кислороде, поверхность пленки имеет развитый рельеф с преобладающим количеством остроконечных «выступов» высотой 100-300 нм. Кристаллиты ЦТС расположены по поверхности выступов. Величина пьезомодуля составляет $133 \pm 9,4$ пм/В.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-29-11019мк. Измерения СМП методом проводились при технической поддержке научного проекта № 0852-2020-0015 в рамках государственного задания Минобрнауки России в области научной деятельности.

1. V.M. Mukhortov, Yu.I Yuzyuk, Heterostructures based on nanoscale ferroelectric films: production, properties and applications, Rostov-on-Don: Southern Scientific Center of RAS, 224 (2008).
2. V.V. Petrov, Yu.N. Varzarev, A.S. Kamentsev, A.A. Rozhko, O.A. Pakhomova, *Nano Hybrids and Composites* **28** (2020).